

## **La matière organique des sols (MOS) : un héritage difficile mais fructueux**

Jean-Robert DISNAR & Ary BRUAND

Interface entre géosphère et biosphère, les sols doivent, de manière immédiatement perceptible, la MO qu'ils renferment aux végétaux, voire aux animaux qu'ils supportent et/ou abritent. La présence de MO au sein des sols et son importance sont connues de longue date. Cette importance a même été très exagérée avec la théorie de l'humus qui, vers la fin du 18e-début du 19e siècle, supposait que les végétaux tiraient de ce substrat toutes leurs substances nutritives, carbone compris. En 1840, dans son traité « la chimie organique et son application en agriculture et en physiologie », Liebig rejette cette théorie et promeut des concepts plus proches de la réalité. Ramenée à une place plus modeste, la MOS est cependant bien prise en compte lors de l'invention de la pédologie moderne, attribuée au géologue russe Dokouchaev, à la fin du 19<sup>e</sup> siècle. Dépêché en Ukraine en 1877, pour en étudier les sols, Dokouchaev a fondé la reconnaissance, dans les profils qu'il y a étudiés (des chernozems), de trois horizons superposés se distinguant avant tout de bas en haut, par leur richesse en matière organique.

### ***La biosphère, source de la MOS***

L'ensemble de ce que produisent les organismes vivants : feuilles, fruits, branches, racines, sécrétions (e.g. exsudats racinaires) pour les végétaux, déjections des animaux, ainsi que leurs cadavres, constituent les intrants au sol et contribuent à y former et à en alimenter le stock de MO. La transition est immédiate pour les feuilles, aiguilles et autres petits débris végétaux qui dès qu'ils tombent au sol y sont considérés comme des constituants de la litière. L'incorporation au sol est encore plus immédiate pour les racines les plus fines, les plus « actives », dont la majeure partie est renouvelée chaque année. Le flux d'intrants au sol qu'elles représentent sous forêt est équivalent à celui de l'ensemble des débris qui y tombent. Ce flux est encore largement supérieur sous végétation prairiale. En revanche, les intrants de grande taille comme les excréments et cadavres de gros animaux, les troncs et grosses branches n'intègrent le sol qu'après les attaques successives de divers organismes décomposeurs.

### ***Du vivant au sol***

Une fois au sol, l'ensemble du matériel organique subit une évolution selon deux voies antagonistes : la minéralisation et l'humification. La première correspond à des processus d'assimilation de la MOS par les organismes du sol (animaux et/ou microorganismes) ; la seconde correspond à des transformations de la MOS qui vont l'amener à incorporer le stock d'humus. Cette distinction est partiellement artificielle, des processus appartenant à ces deux ensembles étant fréquemment couplés durant les transformations subies par les MOS. La fraction assimilée subvient aux besoins énergétiques et métaboliques des organismes décomposeurs et contribue à restituer aux sols, les éléments minéraux ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , ...) que les végétaux avaient puisés de leur vivant. Selon les milieux considérés (forêt, prairie, marécage...), la production végétale primaire qui assure la plus grande part des intrants organiques au sol, est assurée par des végétaux variés tels que arbres, herbes et/ou mousses. La diversité de ces végétaux implique nécessairement des différences de quantité, mais aussi de qualité des intrants organiques, notamment via leurs proportions en constituants biologiques majeurs : polysaccharides, protéines, lipides, acides nucléiques et lignine. Quant à la contribution à la MOS de la matière composant les animaux et microorganismes du sol après leur mort, elle est marginale. En effet, en raison de sa richesse en composés azotés, ce

sont les processus d'assimilation qui prennent largement le dessus sur les processus de transformation. De tels intrants « brûlent » rapidement en fournissant au sol des éléments minéraux.

De nombreux facteurs tels que le climat, la nature du substratum, le régime hydrique... et aussi voire surtout les organismes décomposeurs, contribuent à régir l'humification. Bien évidemment, celle-ci diffère selon qu'elle est principalement assurée par des animaux tels des vers (lombrics) ou des termites qui accélèrent la décomposition des débris végétaux qu'ils ingèrent et dont ils distribuent les restes en profondeur, ou une mésofaune épigée (petits vers, collemboles...) qui, avec la microflore associée, assurent le développement d'une épaisse couche d'humus superficielle ou encore, la microflore des sols engorgés (e.g. tourbières) qui permet l'accumulation d'épais dépôts organiques. Si l'on omet ce dernier cas de figure, les deux autres grands modes d'activité biologique conduisent respectivement aux deux grands types d'humus, celui de type « mull » où l'horizon organo-minéral supérieur du sol n'est éventuellement recouvert que d'une fine litière, et l'autre où entre la litière et l'horizon organo-minéral s'intercale une couche de MOS humifiée (« terre de bruyère ») parfois pluricentimétrique, typique des « moder » si souvent rencontrés en forêt..

### ***Composition, structure et propriétés de la MOS***

La méthode classique d'analyse de la MOS passe d'abord par une extraction en milieu alcalin. Ensuite, l'acidification de cet extrait permet de précipiter des composés nommés « acides humiques », d'autres composés restant alors en solution étant nommés « acides fulviques ». La fraction qui ne subit aucune dissolution est elle, appelée « humine ». En fait, l'ensemble du processus d'humification amène à distinguer les trois types d'humine suivants : l'humine résiduelle ou héritée qui représente une fraction peu transformée du matériel végétal primaire, l'humine microbienne synthétisée par les microorganismes au sein même du sol et enfin l'humine d'insolubilisation qui résulterait des mêmes processus que les acides fulviques et humiques et se distinguerait avant tout par des poids moléculaires élevés (les acides fulviques étant eux même plus légers que les acides humiques). Durant les dernières décennies, la MOS a été soumise à toutes les méthodes d'analyse possibles jusqu'aux plus sophistiquées. La confrontation des diverses informations ainsi collectées a amené à l'établissement de divers modèles moléculaires. Ceux-ci ont généralement en commun un squelette qui comprend beaucoup de noyaux aromatiques portant de nombreux groupements oxygénés. Ces caractères soulignant largement un héritage de la lignine, biopolymère structural des végétaux supérieurs, très particulier à maints égards, avec éventuellement aussi des contributions d'autres composés aromatiques tels que les tannins et des polyphénols microbiens (e.g. Stevenson, 1982). La lignine est un polymère d'unités de type phénylpropanique qui, par définition, comportent un noyau aromatique particulièrement stable et plutôt exceptionnel dans le monde vivant. Ces unités qui portent des groupes oxygénés, se lient entre elles par des liaisons diverses, souvent elles aussi très stables (éthers et même carbone-carbone) pour former un réseau tridimensionnel irrégulier. Ces diverses caractéristiques confèrent effectivement à la lignine une stabilité remarquable qui en font une candidate toute désignée pour être bien préservée, notamment par comparaison aux autres biopolymères tels que polysaccharides et protéines, facilement hydrolysés en sucres et acides aminés aisément métabolisés. La diversité des sources carbonées et des facteurs mis en jeu, impliquent une grande variété de structure des substances humiques et donc l'inanité d'un modèle unique.

D'autres constituants peuvent s'associer à la MOS, notamment divers produits de synthèse à commencer par les pesticides, mais aussi de ceux regroupés collectivement sous l'appellation

de « *black carbon* » (voir encadré) qui comprend principalement des produits de combustion incomplète -débris de bois brûlé, suies-, mais éventuellement aussi du kérogène remanié du substratum si celui est d'origine sédimentaire.

### ***Rôles et importance de la MOS***

Les informations disponibles sur la composition et la structure des constituants de la MOS justifient les propriétés suivantes. D'abord, ils représentent un stock de matière carbonée à lent « turnover » qui, par un relargage progressif d'éléments nutritifs et de substances énergétiques, favorise l'entretien et le développement de l'activité microbologique du sol. Leurs divers groupements oxygénés, polaires, leur confèrent des propriétés hydrophiles, importantes pour la rétention des sols en eau, notamment aux faibles valeurs de potentiel, c'est-à-dire lorsque le sol est soumis à un dessèchement important. Ces propriétés hydrophiles contribuent aussi à la mouillabilité des surfaces des pores et facilitent ainsi la pénétration de l'eau dans le sol. Les groupements acides et complexants des constituants de la MOS peuvent favoriser la dégradation des minéraux, mais aussi jouer un rôle de tampon et d'échangeur d'ions (tant pour des nutriments que pour des métaux toxiques). Ils peuvent aussi établir des ponts entre colloïdes et minéraux et ainsi contribuer à la structuration des sols, propriété déterminante pour leur fonctionnement et leur fertilité. Ils contribuent de la sorte à la stabilité de la structure du sol, en particulier à sa surface, en accroissant la résistance mécanique des éléments structuraux (résistance sous l'action des gouttes de pluie, résistance au compactage). Ce rôle est particulièrement important pour les sols sableux et limoneux qui, en l'absence d'argile en quantité suffisante, sont potentiellement très sensibles à la dégradation de leur structure. La MOS permet alors, au moins partiellement, de compenser la trop faible teneur en argile.

Ainsi, les sols sont le lieu où le carbone du vivant repasse au minéral et où le vivant puise dans ses propres restes pour se régénérer.



Humus de la hêtraie de Fougères (Ille-et-Vilaine) montrant la fragmentation progressive de la litière et la formation de composés humiques qui teintent de noir les silts clairs sous-jacents.  
*Sur une production primaire nette de 60Gt C an<sup>-1</sup>, 50 sont décomposées rapidement (respiration hétérotrophe + broutage). Seules 10 Gt C an<sup>-1</sup> font l'objet d'un stockage à moyen ou long terme (1GT C an<sup>-1</sup>).*